

## 에이징 공정이 대전입자 운동에 미치는 영향

김인호<sup>1\*</sup>, 김영조<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>청운대학교 전산전자공학과

### Effects of Aging Process in Kinetic Movement of Charged Particles

In-Ho Kim<sup>1\*</sup> and Young-Cho Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept of Computer and Electronics Engineering, ChungWoon University

**요 약** 본 논문은 대전입자형 디스플레이의 입자층과 상판과 하판의 전극간격(cell gap)으로 전압특성을 분석하여 에이징 전압 인가 전, 후의 응답속도를 측정하였다. 입자층이 증가할수록 비례하여 문턱/구동/항복 전압이 증가하였고 응답속도는 컬러입자와 검정입자의 q/m값의 차이로 문턱/항복 전압보다 구동전압에서의 응답속도가 빠른 것을 확인하였다. 응답속도는 레이저와 포토다이오드를 이용하여 광학특성으로 측정하였고 입자의 뭉침현상은 aging공정으로 최소화 하였다. 아직까지 대전입자형 디스플레이의 응답속도와 문턱/구동/항복 전압 및 입자주입층, cell gap, aging공정에 관하여 보고된 바 없으며 이에 상관관계를 평가하고 영향을 분석하였다.

**Abstract** We analyze voltage characteristics of charged particle type display according to particle layers and cell gap between two electrodes and ascertain the aging effects by measuring the response time of particles with and without aging process. The threshold/driving/breakdown voltage is proportional to layers of charged particles and cell gap and the response time at driving voltage is faster than that of threshold and breakdown voltage because of different q/m of color and black particles. The analysis of response time is a method of estimation of optical characteristics, driving voltage and particle lumping and these results are promoted by aging process. We use the laser and photodiode to measure response time and optical properties. It has not been studied and reported to analyze the relationship of response time, threshold/driving/breakdown voltage, lumping phenomena, cell gap, and aging process for charged particle type display.

**Key Words** : e-paper, particle, cell gap, layer, aging

### 1. 서론

전자종이는 일반 종이와 같이 자체 광원이 필요 없는 반사형 표시소자로써 백라이트가 필요 없으며 전원을 끈 경우에도 이미지가 유지되는 메모리 기능을 보유하고 있으며 또한 공정이 간단하여 연속공정을 통하여 적은 비용으로 대량생산을 할 수 있으며, 화면을 변환시킬 때에만 전력이 소모되어 저소비 전력으로 구동이 가능하다. 차세대 디스플레이의 유형 중에 전자종이가 포함된 flexible 디스플레이는 얇은 기판 위에 디스플레이를 구현하여 구부리거나, 접거나 할 수 있고 외곽 디자인이 자유

로우며, 기판이 유연성을 갖고 있어 손상되지 않는 새로운 개념의 디스플레이를 의미한다. 최근 보고되고 있는 전자종이는 전기영동방식, 마이크로볼,  $\mu$ -LPD 가 있고 전기습윤방식 등이 있다[1,2]. 현재 가장 앞선 기술로는 전기영동방식이 있으며 이 방식은 유체로 채워진 캡슐의 내부에 전하를 가지는 pigment가 존재하며 전계에 따른 캡슐 내부의 pigment의 이동으로 이미지를 구현하는데, 유체로 인해 응답속도가 낮고, 캡슐내부의 pigment와 유체와의 밀도차이로 밀도가 높은 입자가 시간에 따라 가라앉아 기록된 이미지가 손상되어 메모리 효과가 떨어진 다. 또한 유체로 인하여 이미지 변환 시 이전 이미지의

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행됨

\*교신저자 : 김인호(kimdeath@naver.com)

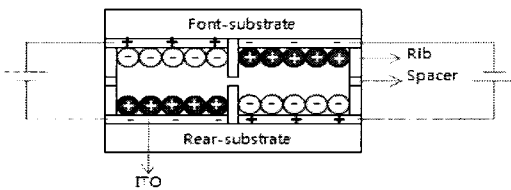
접수일 09년 01월 19일

수정일 (1차 09년 04월 08일, 2차 09년 4월 15일)

계재확정일 09년 04월 22일

잔상이 존재하여서 일정한 횡수의 이미지 변환 시 별도의 refresh 과정이 필요하다[3,4]. 또한, passive matrix로의 사용이 제한을 받아 제조단가를 상승하게 하는 요인이 된다.

대전입자형 전자종이는 공기 중에서 반대 전하와 상호 대조되는 색을 가진 대전입자의 전기적인 특성을 이용하여 화상을 표시하는 방식으로 다른 구동방식의 전자종이보다 개선된 응답속도를 가지고 있어서 동영상 구동이 가능하며 높은 대조비와 시야각과 42% 이상의 반사율을 가지고 있다. 또한 passive matrix를 사용하여 구조의 단순함으로 인한 제조단가를 절감할 수 있고 플라스틱 기판 적용이 가능하고 전원 공급을 중단하여도 전원 공급 전의 이미지가 그대로 유지되어 메모리 효과가 존재하기 때문에 에너지 효율이 높다[5-8]. 그림 1은 대전입자형 디스플레이의 구동원리를 나타낸 단면도이다. 그림 1과 같이 대전입자를 전극과 격벽으로 cell이 형성된 패널의 상판과 하판에 주입하여 전극에 전압을 인가하면 전극과 대전입자 간에 발생하는 인력과 척력으로 입자가 전극에 유도되어서 이미지를 구현하는 소자이다.



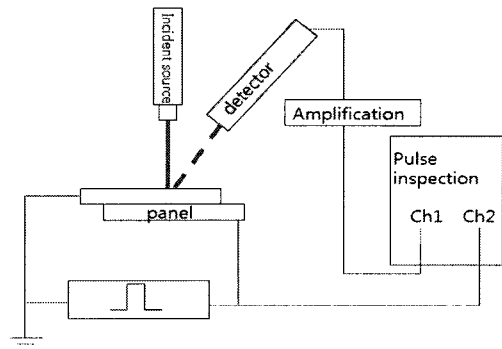
[그림 1] 대전입자형 디스플레이의 구동원리

전자종이에서 aging전압을 인가한 연구는 보고된 바 없으며 본 논문에서는 소자를 구동하기 전에 aging전압을 인가하여 구동하였으며, 입자들의 q/m값이 다르기 때문에 입자들의 aging전압 또한 다르며 구동전압에 맞는 최적의 aging전압을 찾아 적용하였으며 전자종이의 문턱전압, 구동전압 등이 낮아짐을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 cell내부의 입자들의 운동과 전압 등 파라미터 간의 상호영향에 관하여 분석하였고 전극위에 격벽을 형성한 패널을 제작하여 상판전극과 하판전극사이의 거리 (cell gap)와 입자주입층의 변수를 두어 응답시간과 구동전압 및 aging전압에 대한 상관관계를 평가하고 입자간의 영향을 분석하였다.

## 2. 실험

대전입자형 디스플레이의 입자층에 따른 전압특성 및 aging 전후의 응답속도를 측정하기 위하여 소자의 제작

은 glass기판에 ITO전극을 패터링한 후 격벽을 150  $\mu\text{m}$   $\times$  150  $\mu\text{m}$ 의 cell size로 형성하고 대전입자가 원활히 운동할 수 있도록 공간을 확보하여 packaging하였다. aging조건은 1Hz로 이상의 펄스로 구성되어 있으며 각 입자의 q/m값에 따른 펄스를 인가하였다. 또한 aging조건이 변하게 되면 문턱전압, 구동전압, 대조비 등이 변하게 된다. 패널의 광학특성을 분석하여 전압특성을 파악하고 응답속도를 측정하기 위하여 레이저 광을 이용한 광학장비를 사용하였다. 광학특성을 분석하기 위하여 대전입자 주입층과 상, 하판의 전극과 전극사이 거리(cell gap)의 공간을 각기 다르게 하여 패널을 제작하고 전면 구동하면서 반사율을 측정하여 전압특성을 얻었다. 이 전압특성을 기준으로 하여 aging전압을 인가한 후의 응답속도와 인가하지 않았을 때의 응답속도를 측정하였다. 그림 2는 응답속도 측정 방법을 단면도로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 응답속도를 측정하기 위해 incident source로는 laser diode의 광을 사용하였고 구동하는 패널에 입사하여 상판표면에서 반사되는 반사광의 양을 detector인 photodiode가 전류의 양으로 측정하였다. 반사광의 양은 입자의 상하판 운동에 따라 변화하며 그 변화된 값으로부터 응답시간을 측정하였다. 응답시간은 10%-90%의 변화범위를 기준으로 하였으며 photodiode의 미세전류는 증폭기를 이용하여 증폭하였으며 pulse inspection으로 측정하였다.

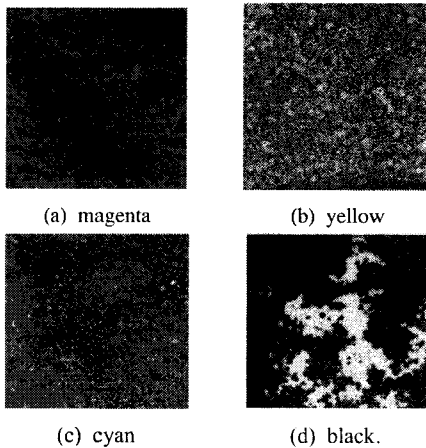


[그림 2] 응답속도 측정

## 3. 결과 및 고찰

그림 3은 본 실험에 사용된 magenta, yellow, cyan, black 대전입자를 각 패널에 2층으로 주입한 것을 현미경으로 관찰한 것이다. magenta, yellow, cyan의 컬러대전입자는 음전하를 가진 대전입자이며, black의 대전입자는 양전하를 띠고 있다. 대전입자층에 따른 전압특성을 분석

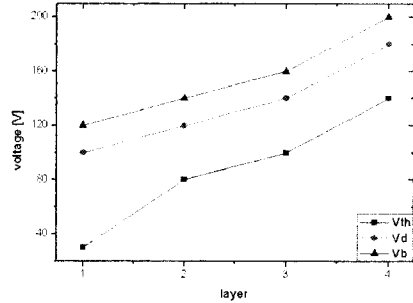
하기 위하여 패널을 광학장비로 반사율을 측정하여 기준을 정한 다음 패널을 전면 구동하여 패널의 반사율이 변화하는 시점을 threshold voltage로 하고, 전압을 점차 증가하며 인가한 후 반사율을 측정한 반사율값의 최대치를 driving voltage로 하였다. 전압을 점차 증가시키면서 반사율을 측정하여 최대점보다 낮아지는 반사율값을 breakdown voltage로 정하였다. threshold voltage를 인가하여 패널을 관찰하면 전면에 대전입자가 일부 혹은 패널 한부분만 유도되어 구동하므로 반사율값의 변화가 미미하고, driving voltage를 인가한 후 패널 전면을 관찰하면 대전입자가 90 %이상이 이동하여 패널 전면에 이미지를 구현한다. breakdown voltage를 인가할 때 대전입자가 overcharge되어 대전입자의 특성을 잃게 되어 입자들 간의 뭉침 현상으로 인하여 반사율이 driving voltage에서의 반사율보다 떨어지며 이미지 질도 떨어진다.



[그림 3] 각 대전입자의 현미경사진

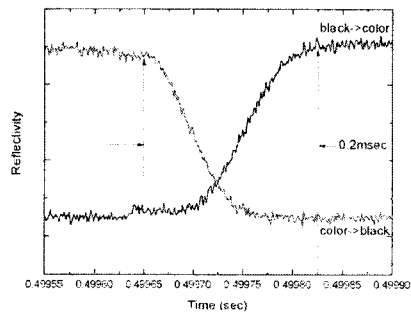
그림 4는 입자층을 각기 다르게 하여 전압특성을 나타낸 그래프이다. 대전입자층을 각 1층부터 4층까지 주입하고 상, 하판의 전극 간격(cell gap)은 주입된 입자층의 거리와 입자가 원활히 운동할 수 있도록 입자층에 대비하여 50%의 공간을 두어 cell gap을 주었다. 입자층이 증가할수록 그에 따른 threshold/ driving/ breakdown voltage가 증가하는 것을 알 수 있다. 광학특성을 감안하여 본 연구에서는 대전입자 주입층을 2층으로 하고 상판과 하판의 전극간의 거리와 대전입자가 원활히 운동할 수 있도록 cell gap을 40  $\mu\text{m}$ 로 하여 magenta와 black, yellow와 black, cyan과 black의 패널을 각 2개씩 제작하여 aging전압을 인가한 샘플과 aging전압을 인가하지 않은 샘플의 응답특성을 비교 분석하였다. 응답속도를 측정하기 위해 패널의 구동 시 컬러대전입자와 black 대전입

자의 교차운동으로 인하여 상판을 관찰하면 대조비의 차이를 확인할 수 있다.



[그림 4] 대전입자층에 따른 전압특성

그림 5는 이 대조비의 변화를 laser 광을 이용하여 상판표면의 반사율이 변화하는 값을 photo diode를 이용하여 측정된 것을 pulse inspection로 측정된 데이터 값을 그래프로 나타낸 것이다. black 입자에 비해 color 입자의 반사율이 크기 때문에 photo diode의 출력전류가 증가하게 되며 이를 증폭하여 pulse inspection로 확인하였으며 이로부터 응답시간을 측정하였다.



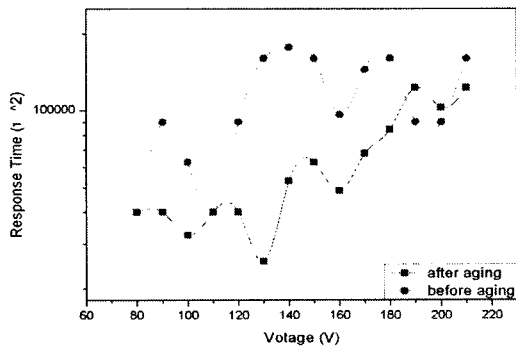
[그림 5] 반사율로 측정된 응답속도

그림 6은 magenta, yellow, cyan, black 대전입자의 aging 전압을 인가한 후와 인가하지 않은 구동전압의 응답속도를 전압에 따라 나타낸 그래프이다. 응답시간의 최저치에서 구동전압을 보이는 특성이 있다. 130V 이상에서는 breakdown voltage으로 간주되며 입자의 운동이 정지되기 때문에 100~120V 정도에서 구동전압이 정해짐을 그림 6에서 확인할 수 있다. 패널에 주입된 입자의 q/m값이 그림 3에서 보는 것처럼 입자의 지름과 밀도에 따라 일정치 않아 그림 4의 그래프에서 나타낸 threshold voltage 구간에서는 q/m값이 큰 입자가 charging되어 운동을 하는데 그 수가 상대적으로 적어 아직 charging이 되지 않아 움직이지 않은 다수의 입자의 방해로 응답속

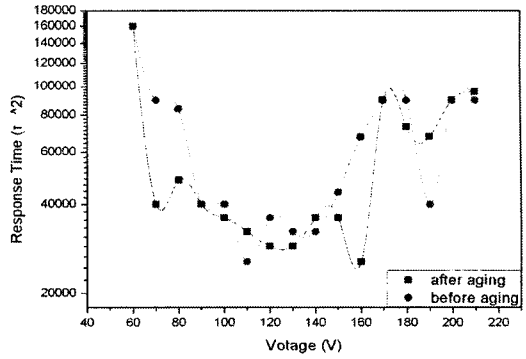
도가 떨어지게 된다. driving voltage 전압구간에서는 패널에 주입된 다수의 입자가 charging되어 운동을 하므로 charging되지 않은 소수의 입자의 간섭받지 않으며 운동을 하므로 응답속도가 빠른 것을 확인할 수 있었고 driving voltage보다 높은 breakdown voltage의 전압구간에서는 q/m값이 적은 입자들이 charging이 되어서 평균 q/m값의 입자들과 뭉침 현상으로 대전입자의 특성을 잃어서 다시 응답속도가 늦어지는 것을 확인할 수 있다.

그림 6에서 보는 바와 같이 aging전압을 인가하지 않고 구동한 패널의 응답속도는 폭이 큰 비주기적인 곡선을 그리며 aging전압을 인가한 후 구동한 패널의 응답속도는 그 보다 작은 폭을 가진 비주기적인 곡선을 그리는데 이는 입자의 q/m값은 평균값으로 이해되며 소자간의 입자 각각의 q/m값이 서로 다르다. 또한 상판과 하판의 입자 또한 q/m이 다르므로 구동 시 입자끼리 서로 붙어 있는데 이 붙어있는 입자들은 q/m값이 감소하여 응답특성을 낮추는 현상을 보인다. 또한 각 인가전압 마다 평균 q/m값 보다 큰 입자가 먼저 charging되면서 반대극성을 가진 q/m값이 적은 입자를 끌어당기게 된다. 이로 인하여 전하량이 적은 대전입자가 전하량이 큰 반대극성의 대전입자에 붙게 된다. 따라서 이 붙어있는 상태인 입자들은 전하량이 서로 상쇄되어 원래 입자 하나가 가진 q/m값보다 훨씬 적은 입자로 되고 색상에도 영향을 미친다. 즉, 뭉침 현상으로 인하여 하나의 커다란 대전입자 덩어리가 된다. q/m값이 작아진 대전입자 덩어리들은 보다 높은 전압을 인가하면 일부 입자들이 분리되어 응답속도를 빠르게 한다. 이러한 특성 때문에 항복전압을 인가하여도 대전입자들의 소수는 움직이게 되어 항복전압 이상의 전압을 인가하여도 응답속도가 측정된다.

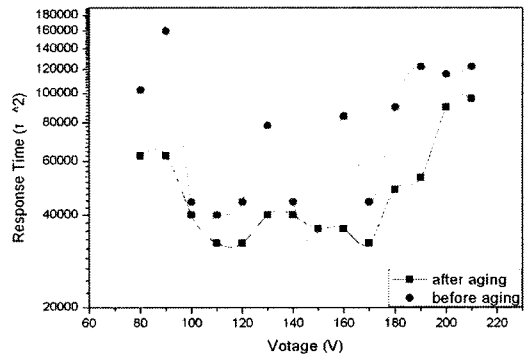
따라서 이를 최소화하기 위하여 aging전압을 인가한 후 구동전압을 인가하는데 이는 서로 반대되는 극성을 가진 대전입자들이 뭉쳐있을 때 aging전압으로 인하여 대전입자가 분리되어 응답속도가 빨라지고 동일 구동전압에서의 응답속도의 신뢰성을 높일 수 있다.



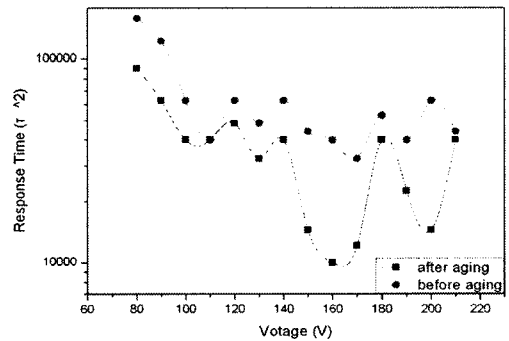
(a) magenta



(b) yellow



(c) cyan



(d) black

[그림 6] Aging 전 후의 응답속도

#### 4. 결론

대전입자형 디스플레이의 입자층과 cell gap에 따른 전압특성을 분석하였으며, 컬러대전입자에 aging 전압을 인가한 경우와 인가하지 않은 경우의 응답속도를 측정하여 aging의 효과를 확인하였다. 대전입자층이 증가할수록 구동전압이 높아지는 것을 확인하였고 컬러 입자들의 q/m과 black 대전입자의 q/m값이 다르므로 컬러대전입자

의 응답속도와 black대전입자의 응답속도가 다르게 나오는 것을 확인할 수 있다. 입자층에 따른 전압특성으로 입자의 전압특성을 분석하였고 응답속도는 광학특성, 구동 전압 및 입자의 뭉침 현상을 평가하는 방법으로 이해되며 aging은 이러한 현상을 개선하는 효과가 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] T. Kitamura, "Electronic Paper Based on Particle Movement Electrophoretic and Toner Display", IDW 06, p. 587, 2006.
- [2] B. J. Feenstra, R. A. Hayes, R. Van Dijk, R. G. H. Boom, M. M. H. Wagemans, I. G. J. Camps, A. Gi-raldo, and B. V. D. Heijden "Electrowetting-based displays: Bringing microfluidics alive on-screen", MEMS 2006, Istanbul, Turkey, 22-26, p. 48 2006.
- [3] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda, N. Nihei, and R. Sakurai, "Ultra Thin and Flexible Parer-like Display using Q-LPD Tehnology", DIGEST 04, p. 136, 2004.
- [4] Y. Masuda, Y. Sakurai, N. Nihei, and R. Hattori, "Novel Type of Multi-stable Reflective Display using Electric Power", Proc. of IDW Symposium, p. 821, 2005.
- [5] R. Sakurai, S. Ohno, Y. Masuda, and R. Hattori, "Color and Flexible Electronic Paper Display using Q-LPD Technology", SI D DIGEST 06, p. 1922, 2006.
- [6] Y. Masuda, N. Nihei, R. Sakurai, and R. Hattori, "A reflective-display Q-LPD", Journal of the SID 14/5, p. 443, 2006.
- [7] Y. Masuda, R. Sakurai, N. Nihei, and R. Hattori, "Novel type of Multi-Stable Reflective Display using Electric Powder", IDW/AD 05, p. 821, 2005.
- [8] S. H. Kwon, S. G. Lee, W. K. Cho, B. G. Ryu, and M. B. Song, "Reflective Paper- like Display using Opposite-charged Two Particles", IMID DIGEST 05, p. 423, 2005.

### 김 인 호(In-Ho Kim)

[준회원]



- 2008년 2월 : 청운대학교 전자공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전산·전자공학과 (공학석사 재학)

<관심분야>  
전자종이, 디스플레이

### 김 영 조(Young-Cho Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울시립대학교 전산·전자공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울시립대학교 전산·전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전자공학과/디지털방송공학과 부교수

<관심분야>  
반도체, 디스플레이